



ЦНИИ «ЭЛЕКТРОНИКА»

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ **по зарубежной электронной технике**

Выпуск 6 (6594) от 18 февраля 2016 г.

Еженедельный научно-технический бюллетень
Издается с 1971 г., в электронном виде - с 2003 г.

Сегодня в выпуске:

- К проведению SEMICON China 2016 и SEMICON Southeast Asia
- Рынок изделий, изготовленных по FinFET технологии, в 2022 году достигнет \$35,12 млрд.
- Рост отгрузок кремниевых пластин
- Обама подписал закон о борьбе с контрафактными ИС
- Изменения в подходах DARPA к НИОКР. IoT, как следующее средство шпионажа.
- «Чистые» кремниевые заводы: 58% мощностей находится в сейсмоопасной зоне
- Новые схемы памяти: 90-нм односторонняя МОНОП-флэш от Renesas и 3D NAND от Micron
- SUNY Poly и GlobalFoundries приступили к реализации новой программы НИОКР стоимостью \$500 млн.
- Боронитридные нанотрубки с квантовыми точками из атомов железа как транзистор без полупроводников
- Новая технология изготовления биосовместимых ИС
- Растения как возможное средство создания электронных приборов
- Перспективы развития рынка дисплеев на квантовых точках
- Автомобильные сенсорные дисплеи, работающие при экстремальных температурах
- Мировой рынок лазеров для обработки материалов и литографии
- Алмазный гребенчатый волновод для фотонных ИС

Деятельность международных организаций

Макушин М.В.

К проведению SEMICON China 2016 и SEMICON Southeast Asia

В Шанхае 15-17 марта 2016 г пройдет выставка-конференция SEMICON China 2016, одобренная Министерством торговли КНР и организованная совместно SEMI и Китайской торговой палатой в области электроники. Спонсорами мероприятия являются такие фирмы, как JCET, SMIC, TEL, Applied Materials, LAM Research, ASE, GCL и ANJI. Ожидается, что в конференции примут участие основные правительственные чиновники, отвечающие за принятие решений, руководители фондов содействия развитию микроэлектроники, ведущие мировые промышленные аналитики. Они рассмотрят вопросы производственной политики КНР в области микроэлектроники, возможности, проблемы и риски производства электроники (КНР – крупнейшая база по ее производству) и внутреннего рынка КНР в условиях быстро меняющейся конъюнктуры.

По оценкам SEMI, затраты на полупроводниковое оборудование в 2016 г. составят 5,3 млрд. долл., что на 9% превысит показатели 2015 г., в то время как затраты на полупроводниковые материалы достигнут 6,2 млрд. долл. Утверждается, что КНР по-прежнему будет демонстрировать самые высокие в мире темпы роста полупроводниковой и смежных отраслей. На данный момент в стране действуют 10 заводов по обработке пластин диаметром 300 мм, 8 из которых находятся либо в стадии модер-

низации, либо налаживания массового производства. Еще три подобных завода находятся либо на этапе строительства, либо изменения ассортимента выпускаемой продукции. И, наконец, еще шесть проектов по созданию 300-мм производств находятся на различных стадиях планирования.

Мировая промышленность внимательно следит за реализацией политики масштабированных инвестиций КНР в развитие микроэлектроники и ее влиянием на мировую производственную цепь поставок полупроводниковых приборов. Политика КНР предоставляет значительные возможности китайским и мировым полупроводниковым фирмам, готовым участвовать в развитии данной экосистемы.

В рамках SEMICON China в 2016 г. впервые пройдут форумы, представляющие разные аспекты задачи «Создание производственной структуры микроэлектроники в КНР». К ним, в частности, относятся: «Мобильные и IoTⁱⁱ технологии» (организован совместно с JEDECⁱⁱⁱ), «Стратегия КНР в области схем памяти», «Решения в области концентраторов датчиков^{iv} для носимой электроники^v и IoT», «СИД в КНР» и «Мощные полупроводниковые приборы».

На 16 марта намечено проведение форума по инвестициям в высокие технологии (“Tech Investment Forum-China 2016”). Это мероприятие уже стало важной платформой обсуждения проблем между инвесторами и полупроводниковой промышленностью КНР. В его рамках пройдет секция, на которой стартапы будут пытаться привлечь к инвестированию своих проектов венчурный капитал. Кроме того, одновременно и на одной площадке с SEMICON China пройдут конференции по плоскочисленным дисплеям (FPD China) и светоизлучающим диодам (LED China), что усиливает синергетический эффект взаимодействия этих смежных, быстро развивающихся рынков.

Отмечается, что проведению SEMICON China 2016 будет предшествовать международная конференция по полупроводниковым технологиям (China Semiconductor Technology International Conference, CSTIC-2016), организованная SEMI и IEEE-EDS^{vi}. На ней будут представлены более 400 докладов по различным тематикам, включая полупроводниковые приборы, проектирование, литографию, интеграцию, материалы, процессы, производство, перспективные полупроводниковые приоры и применения кремниевых материалов [1].

Еще одной региональной конференцией SEMI в ближайшее время станет SEMICON Southeast Asia (SEMICON SEA), проведение которой намечено на 26-28 апреля 2016 г. на острове Пенанг (одноименный штат Малайзии). Ее целью является содействие развитию инноваций в области микроэлектроники, укрепление регионального, межрегионального и международного сотрудничества, открытие новых деловых возможностей, содействие развитию рынков микроэлектроники Юго-Восточной Азии. В мероприятии традиционно будут принимать участие полупроводниковые фирмы Малайзии, Сингапура, Вьетнама, Таиланда, Филиппин и Индонезии, а также ряд американских, европейских, тайваньских, южнокорейских и японских фирм.

Основное внимание на конференции SEMICON SEA 2016 будет уделено основным тенденциям и решениям в области проектирования и производства полупроводниковых приборов. Особый упор предполагается сделать на обслуживание потребностей развивающихся прикладных рынков, многие из которых требуют разработки специализированных материалов, технологий корпусирования и тестирования, а также новых архитектур и процессов. Предполагается, что в работе SEMICON SEA 2016 примут участие около 7 тыс. специалистов. При этом это будут представители не только разработчиков, производителей и поставщиков, но и лица, ответственные за принятие конечных решений при выборе и закупке микроэлектронного производственного оборудования, материалов, компонентов и услуг [2].

1. *China semiconductor acquisitions surge; SEMICON China brings the new market into focus. Solid State Technology. The Pulse, February 05, 2016*
2. *SEMICON Southeast Asia 2016 comes back to Penang. Solid State Technology. The Pulse, February 11, 2016*

Экономика

Макушин М.В.

Рынок изделий, изготовленных по FinFET технологии, в 2022 году достигнет \$35,12 млрд.

По данным исследования^{vii} фирмы MarketsandMarkets, мировой рынок изделий, изготовленных по FinFET^{viii} технологии увеличится с 4,91 млрд. долл. в 2015 г. до 35,12 млрд. долл. в 2022 г., при этом среднегодовой темп роста в сложных процентах (CAGR) составит 26,2%. Развитие рынка FinFET технологии обусловлено следующими факторами:

- миниатюризация полупроводниковых приборов при увеличении их производительности;
- рост рынков мобильной и потребительской электроники;
- высокая производительность при меньшем токе утечки, по сравнению с монолитной кремниевой технологией.

FinFET технология впервые была использована корпорацией Intel на уровне 22-нм технологического процесса. С технологической точки зрения рынок FinFET технологии разбит на сегменты 22-, 20-, 16-, 14-, 10- и 7-нм минимальных топологических норм. Первоначально 22-нм FinFET приборы фирмы Intel предназначались в основном для применения в компьютерах и серверах.

В разрезе минимальных размеров топологических элементов по мере роста потребности в миниатюризации полупроводниковых приборов, наряду с улучшением эксплуатационных характеристик и снижением потребляемой мощности, в прогнозируемый период наивысшие темпы роста продемонстрируют приборы, реализованные по 7-нм технологии.

С точки зрения конечного применения ранними последователями^{ix} FinFET технологии были компьютеры и смартфоны, они же являются главной движущей силой данного рынка и сейчас. Отмечается, что прикладные процессоры в смартфонах приближаются к той же функциональности, что и центральных процессоров в ПК. В настоящее время FinFET технология набирает популярность в таких конечных применениях, как носимая электроника, высокопроизводительные сети, автомобильная электроника. Как ожидается, в период до 2022 г. наивысшие темпы роста использования FinFET изделий продемонстрирует носимая электроника.

С географической точки зрения наибольшая доля рынка FinFET изделий в 2015 г. пришлась на Северную Америку. Однако в 2016-2022 гг. наибольший CAGR покажут страны АТР. Ведущие страны данного региона являются крупными производственными центрами мировой микроэлектроники, что открывает широкие возможности развития FinFET технологии. Движущей силой развития рынка в АТР является растущий спрос на высокопроизводительные смартфоны и центральные процессоры автомобильной электроники.

Крупнейшими производителями FinFET изделий являются Intel (США), TSMC (Тайвань), Samsung (Южная Корея) и GlobalFoundries (штаб-квартира в США, капитал на 100% эмирата Абу-Даби).

FinFET technology market worth \$35.12B by 2022. Solid State Technology. The Pulse, February 11, 2016

Макушин М.В.

Рост отгрузок кремниевых пластин

По данным SEMI, общая площадь отгруженных в 2015 г. кремниевых пластин увеличилась на 3%, по сравнению с предшествующим годом, однако доходы от их продаж сократились на 6% (см. таблицу), что обусловлено как снижением цен, так и воздействием кросс-валютных курсов. При расчетах учитывались кремниевые пластины различных диаметров (от 2,54 до 300 мм) и типов (полированные кремниевые пластины, включая необработанные тестовые пластины, и эпитаксиальные пластины, поставляемые производителями пластин конечным пользователям).

Динамика отгрузок кремния* в 2007-2015 годах

Показатель	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Площадь, млн. кв. дюймов	8,661	8,137	6,707	9,370	9,043	9,031	9,067	10,098	10,434
Продажи, млрд. долл.	12,1	11,4	6,7	9,7	9,9	8,7	7,5	7,6	7,2

* - Отгрузки даны по кремнию для производства полупроводниковых приборов и не включают отгрузки кремния для гелиотехники

Another record year for silicon wafer shipment volumes in 2015. Solid State Technology. The Pulse, February 10, 2016

Госрегулирование

Макушин М.В.

Обама подписал закон о борьбе с контрафактными ИС

Президент США Обама заявил о намерении подписать таможенный законопроект, одобренный Сенатом и включающий меры по борьбе с контрафактными полупроводниковыми приборами. Законопроект, известный как «Закон об упрощении процедур торговли и правоприменении в области торговли 2015 г.» (Trade Facilitation and Trade Enforcement Act of 2015 (H.R. 644/S.1269)), уполномочивает Бюро таможенного и пограничного контроля^x обмениваться с заинтересованными сторонами информацией и образцами подозрительных изделий для ускорения процедуры идентификации на контрафактность.

Оборот контрафактных полупроводниковых приборов в последние годы привлек к себе растущее внимание различных организаций, таких как Ассоциация полупроводниковой промышленности США (SIA), Торговая палата США и Национальная ассоциация производителей. По данным SIA, в 2011 г. американские изготовители полупроводниковых приборов понесли убытки от контрафактных ИС на сумму более 7,5 млрд. долл. Отмечается, что контрафактные ИС представляют значительные риски для здравоохранения, национальной безопасности и т. д.

Новая редакция закона, по сравнению с предшествующей, обеспечивает беспрепятственное общение между официальными таможенными лицами и изготовителями полупроводниковых приборов, которые лучше оснащены для идентификации контрафакта. Благодаря отмене ряда процедур, процесс обмена информацией значительно ускорился, что снижает риски проникновения контрафактной продукции на рынок США.

Dylan McGrath. Obama to Sign Bill Combating Counterfeit Chips. EE Times, 2/12/2016

Военно-разведывательные исследования

Макушин М.В.

Изменения в подходах DARPA к НИОКР. IoT, как следующее средство шпионажа.

Некоторые технологии, значительно изменившие мир (например, Интернет) появились в результате реализации программ DARPA^{xi}. Однако темп изменений ускоряется. Соответственно, DARPA вместо концентрации на крупных, дорогих и долгосрочных проектах теперь сосредотачивает свой бюджет (2,9 млрд. долл. в 2016 г.) на большем числе менее дорогих кратко- и среднесрочных инновационных программ, лучше отвечающим политике краудсорсинга^{xii}.

В рамках нового подхода сформировано и реализуется ряд программ. Проект «Обнаружение и восприятие программных закладок» (Mining and Understanding Software Enclaves, MUSE) предполагает разработку средств автоматической оценки качества ПО с открытыми исходными кодами, способными сформировать обоснованные рекомендации программистам относительно того, какой код предпочтительнее использовать.

Ряд проектов направлен на разработку «затравок новых технологических сюрпризов», таких как введение математического аппарата в проектирование сложных систем совершенно новыми способами. Например, программа создания компактных средств утилизации химических веществ, инвариантных к их составу (Agnostic Compact Demilitarization of Chemical Agents, ACDC), позволяющих преобразовывать (боевые) отравляющие вещества на месте их размещения в удобрения.

DARPA также пытается переосмыслить сложные военные системы с целью разработки методов их разделения на более мелкие и дешевые распределенные платформы, обладающие большей адаптируемостью и гибкостью, способные по-разному отвечать на непредсказуемые вызовы будущего. Речь идет, в частности, о перспективных бортовых системах искусственного интеллекта. Если сейчас истребители фиксируют новый тип сигнала, который они не могут подавить, то происходит его запись, далее он исследуется в лабораторных условиях и разрабатываются контрмеры, средства реализации которых далее размещаются на борту. В будущем вместо этого предлагаемые перспективные бортовые системы искусственного интеллекта на основе нейронных сетей будут изучать характерные признаки нового сигнала в масштабе реального времени и реконфигурировать систему противодействия непосредственно на борту.

Одной из важнейших работ DARPA является программа создания кибернетических систем военного назначения с высокой степенью надежности (High-Assurance Cyber Military Systems, HACMS). Ее цель – поиск новых способов обеспечения невзламываемости встраиваемых систем. В рамках этих подходов, вместо использования всех программных ресурсов обеспечения безопасности в попытках предотвращения проникновения хакера в компьютерную систему, HACMS обеспечивает математически доказуемую невзламываемость системы за счет использования формальных доказательств (и методов синтеза кода), обеспечивающих соответствие исполнимых файлов их формальным спецификациям (по принципу) «неважно, что». Соответствующие инструментальные средства включают системы синтеза интерактивного ПО и инструментальные средства верификации (в том числе программы автоматического доказательства теоремы, средства контроля моделей и языки спецификаций). В этом случае, если хакер и проникнет в систему, уже известен код, обеспечивающий полную

защиту от неправильного функционирования за счет решателей выполнимости теории по модулю, разделения логических функций, доказанных теорем, средств контроля моделей, проблемно-ориентированных языков и блоков синтеза кода нового типа.

При проверке вышеупомянутых новых методов на невзламываемость их разработчики зависят от формальных математических доказательств. Однако для представления программному сообществу доказательств достижимости невзламываемости встраиваемых систем «Интернета вещей» (IoT) разработчики HACMS создали доказуемо невзламываемое программное ядро операционной системы беспилотного летательного аппарата (БЛА) Little Bird (вертолет). В рамках его испытаний попытки привлеченных к тестированию хакеров взять БЛА под контроль провалились, даже когда им был дан доступ к одной из подсистем – модулю камеры Little Bird.

Отмечается, что методики, создаваемые в рамках реализации HACMS, не являются оригинальным решением проблемы, но это новое направление, позволяющее дать ограниченное описание невзламываемости встраиваемых систем, применимое и в гражданском секторе. Применимость в гражданском секторе относится прежде всего к автомобильным и другим встраиваемым системам, подключенным к Интернету (то есть применимость в IoT-системах), где необходима надежная защита от хакеров [1].

Безопасностью IoT озабочено не только DARPA. Руководство Национальной разведки США^{xiii} утверждает, что IoT может использоваться враждебными разведками для наблюдения, сетевого доступа и т. п. Кроме того, IoT может стать новой сферой деятельности киберпреступников, изыскивающих способы воровства персональной информации. Таким образом, использование IoT дает как новые возможности разведсообществу США, так и создает новые угрозы национальной безопасности.

Эксперты полагают, что американские и зарубежные разведслужбы будут собирать информацию путем перехвата сигналов, передаваемых IoT-приборами, подобно тому, как это сейчас осуществляется с сотовыми телефонами.

IoT определенно привлекает внимание как вполне достижимая для хакеров цель. Недавно президент Обама подписал новый «Национальный план действий по обеспечению кибербезопасности» (Cybersecurity National Action Plan), призванный, в частности, обеспечить безопасность IoT-приборов. В рамках данного закона предполагается создание центра тестирования и сертификации IoT-приборов.

Согласно данным отчета Dark Reading (негосударственное сообщество по вопросам информационной безопасности), угроза зомбированных^{xiv} IoT-приборов в 2016 г. является одной из крупнейших угроз информационной безопасности. Предполагается, что в текущем году хакеры попытаются преобразовать подобные IoT-приборы в «Зомби-сеть вещей» (BoT) [2].

1. R. Colin Johnson. *DARPA to Remake Itself Leaner (Goes for holy grail of unhackable IoT)*. *EE Times*, 2/11/2016

2. *IoT Next Surveillance Frontier, Says US Spy Chief*. *InformationWeek GOVERNMENT, News*, 2/10/2016

Производственные мощности

Макушин М.В.

«Чистые» кремниевые заводы: 58% мощностей находится в сейсмоопасной зоне

По оценкам, каждый год в мире происходит около 80 тыс. землетрясений, однако большинство из них практически незаметно. «Великое восточно-японское землетрясение» (или землетрясение в Тохоку 1.03.2011 г.) и последовавшее за ним цунами нанесли значительный ущерб. Повреждения получили многие полупроводниковые предприятия, а также мощности, поддерживающие данную отрасль. Некоторые из них закрылись. Это было второе по мощности в Японии и пятое в мире с начала регистрации силы землетрясений в 1900 г.

С самых ранних дней возникновения микроэлектроники в Кремниевой долине значительная часть производственных мощностей всегда находилась в сейсмически активных регионах. По состоянию на декабрь 2015 г. в подобных зонах (высокого и умеренного риска землетрясений) располагалось 50% мировых мощностей полупроводниковой промышленности.

Надо отметить, что на Тайвань и Японию приходится 39% мировых мощностей (декабрь 2015 г.). Обе страны расположены в зоне высокой сейсмической активности, под угрозой разрушения от землетрясения находится значительная доля производств этих стран.

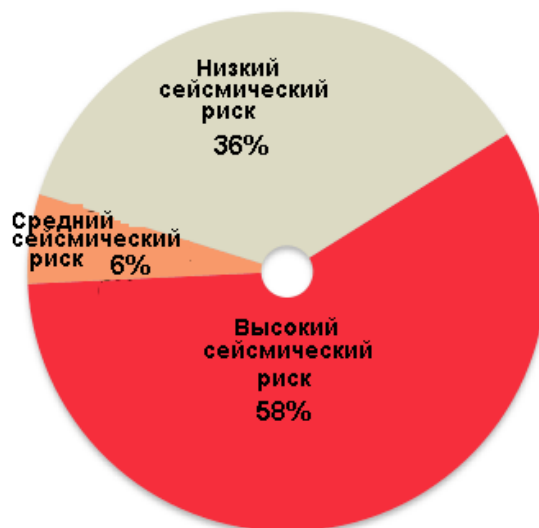
Хотя Юго-Восточная Азия в целом считается очень сейсмоопасной зоной, Сингапур и Малайзия рассматриваются как относительно безопасные страны. В КНР ситуация неоднозначна: если Пекин и его окрестности считаются областью со степенью риска от умеренной до высокой, то другие крупные центры, такие как Шанхай, Шэньчжень и Уси, стоят на «твердой земле». Подобным же образом юг Франции находится в зоне умеренной сейсмической опасности, а в центральной и северной Франции эта опасность отсутствует.

Как показано на рисунке, 64% мощностей «чистых» кремниевых заводов^{xv} расположены в районах умеренного и высокого риска землетрясений. Два крупнейших «чистых» кремниевых завода, TSMS и UMC, большую часть своих производств держат на Тайване. Следовательно, их повреждение землетрясением или тайфуном может оказать значительное негативное воздействие на всю цепочку поставок электроники. Ввиду того, что у кремниевых заводов очень широк круг различных заказчиков, с одной стороны, и того, что кремниевые заводы иногда являются единственными поставщиками достаточно широкого типа изделий, серьезные повреждения производственных мощностей кремниевых заводов может привести к более серьезным последствиям, чем разрушение отдельных заводов IDM^{xvi}.

По оценкам IC Insights, в случае повреждения предприятий в научно-промышленном парке Синчу (на который приходится около 45% мощностей по обработке пластин на Тайване) чистые потери в мировых продажах электронных систем могут составить 9,3 млрд. долл. в месяц. При этом поврежденные землетрясением или тайфуном предприятия могут выйти из строя на месяц, два, три или более [1].

Что касается последнего серьезного землетрясения мощностью 6,4 балла (06.02.2016 г.), то оно затронуло в основном юг Тайваня и не привело к большим потерям персонала или существенным повреждениям инфраструктуры или мощностей заводов TSMC (Fab 14 и Fab 6), расположенных в Тайнаньском научно-промышленном парке. Повреждения пластин, находившихся в обработке, все еще оцениваются. Однако, по данным специалистов TSMC, более 95% инструментальных средств было

приведено в рабочее состояние в течение 2-3 дней после землетрясения. Для ускорения работ на упомянутые заводы перебрасывались специалисты корпорации с предприятий в парках Синчу и Тайчжун (центр западного Тайваня). Предполагается, КМОП что вследствие землетрясения отгрузки пластин за I кв. 2016 г. уменьшатся не более чем на 1% [2].



Структура расположения мощностей «чистых» кремниевых заводов по сейсмоопасности расположения (общая мощность на декабрь 2015 г. 4,7 млн. пластин в месяц – в эквиваленте 200-мм структур)

1. 58% of pure-play foundry capacity under high risk for seismic activity. *Solid State Technology. The Pulse, February 09, 2016*
2. TSMC assessing February 6 earthquakes and planning recovery. *Solid State Technology. The Pulse, February 12, 2016*

Микроэлектроника

Макушин М.В.

Новые схемы памяти: 90-нм односторонняя МОНОП-флэш от Renesas и 3D NAND от Micron

Корпорация Renesas Electronics разработала 90-нм технологию односторонней МОНОП (1T-MONOS^{xvii}) флэш-памяти, которая может быть использована совместно с различными процессами, такими как КМОП и биполярный КМОП ДМОП (BiCDMOS), а также обеспечивает высокую долговечность (порядка 100 млн. циклов программирования/стирания) при высокой температуре перехода (175°C) и низкое энергопотребление при операциях перезаписи (0,07 мДж/8 Кбайт). Основное назначение разработанной технологии – использование в автомобильных аналоговых приборах с улучшенной производительностью и надежностью.

Новая технология позволяет сократить дополнительные производственные издержки при одновременном облегчении способов интеграции флэш-памяти с автомобильными аналоговыми и мощными приборами. Это означает, что аналоговые схемы для датчиков подключения и двигателей могут использовать приборы, сочетающие микроконтроллерную логику и флэш-память на основе новой технологии. Соответственно, возникает возможность значительного снижения количества ИС, используемых в системах управления двигателем, сделать эти системы более компактными, легкими и энергосберегающими.

Кроме того, долговечность новой технологии флэш-памяти делает ее пригодной для использования в таких применениях, как автоматическая калибровка или запись состояния с использованием высокочастотной выборки при фактических полевых условиях [1].

Корпорация Micron (совместно с Intel) объявила о доступности их 3D схем флэш-памяти NAND-типа на основе многоуровневых (MLC) и трехуровневых ячеек (TLC). Ожидается, что во второй половине этого года большая часть выпуска продукции флэш-памяти NAND-типа корпораций будет представлена 3D NAND схемами, разработанными для использования в ноутбуках, планшетных ПК и серверах, что требует повышенных емкости и производительности. Отмечается, что значительные возможности для 3D NAND представляют твердотельные накопители (solid state driver, SSD), широко применяемые на рынках встраиваемых приборов, таких как автомобильная и промышленная электроника, мобильные приборы и IoT.

В настоящее время корпорация Micron начала серийное производство 256-Гбит MLC и 384-Гбит TLC схем, которые можно этажировать и вставлять в SSD. При этом емкость SSD в типоразмере m.2 составляет 3,5 Тбайт, а в типоразмере 2,5 дюйма – 10 Тбайт. В целях дальнейшего снижения стоимости 3D NAND корпорация Micron осуществила ряд архитектурных инноваций. Одно из изменений – возможность скрыть более 75% КМОП логики под 32-слойной матрицей 256-Гбит MLC/ 384-Гбит TLC 3D NAND.

В 3D NAND Micron использует технологию плавающего затвора, которая применялась с самых первых дней существования флэш-памяти NAND-типа, а также в ЭСППЗУ и флэш-памяти NOR-типа. Разработчики отказались от технологии захвата заряда, так как не были решены некоторые проблемы, возникающие с ее использованием при этажировании, например, потеря заряда, влияющая на его удержание.

Новые 3D NAND корпорации Micron уже нашли поддержку ряда фирм. Так, корпорация Silicon Motion представила полностью готовый к эксплуатации коммерческий SATA^{xviii} SSD контроллер, поддерживающий 3D NAND различных поставщиков, включая Micron. Причем контроллер рассчитан на SSD большой емкости, до 2 Тбайт. О поддержке 3D NAND от Micron заявила также корпорация PMC Sierra. Кроме того, на рынке уже есть несколько контроллеров других фирм, способных поддерживать 3D NAND корпорации Micron в различных сегментах конечного применения: флэш-карты, клиентские SSD и корпоративные SSD. Хорошие перспективы роста потребления SSD с использованием 3D NAND демонстрирует сектор ноутбуков.

Отмечается, что сотрудники Micron, ответственные за экосистемное обеспечение, начали работать с производителями контроллеров еще два года назад, разъясняя им маршрутную карту технологического развития 3D NAND своей корпорации и собирая их отзывы и пожелания.

Корпорация Micron (совместно с Intel) стала вторым после Samsung поставщиком 3D NAND. Samsung начала поставки своих «вертикальных» (VNAND) приборов с высокой плотностью размещения элементов почти два года назад. При этом корпорация предлагает свою продукцию как в виде ИС, так и в виде SSD. В марте прошлого года опытные образцы своей 48-слойной BiCS^{xix} флэш-памяти на структуре этажированных ячеек представила корпорация Toshiba. Серийное производство должно начаться в I кв. текущего года.

1. Renesas unveils 90nm one-transistor MONOS flash memory tech. *Solid State Technology. The Pulse*, February 11, 2016

2. Gary Hilson. *Micron Ramps Up Volume 3D NAND Production. EE Times*, 2/12/2016

НИОКР

Макушин М.В.

SUNY Poly и GlobalFoundries приступили к реализации новой программы НИОКР стоимостью \$500 млн.

Политехнический институт Университета штата Нью-Йорк (SUNY Poly) и кремниевый завод GlobalFoundries заявили о создании Центра перспективных методик формирования рисунка и производительности (Advanced Patterning and Productivity Center, APPC), который будет расположен на территории Колледжа наноразмерной науки и техники (Colleges of Nanoscale Science and Engineering, CNSE) при SUNY. Создание центра – часть пятилетней программы НИОКР стоимостью 500 млн. долл., цель которой – ускорить внедрение в производство технологий литографии на предельном ультрафиолете^{xx}. Центр будет включен в международную сеть изготовителей ИС, поставщиков полупроводникового оборудования и материалов, включая IBM и Tokyo Electron. Штат центра – 100 исследователей.

Данный проект демонстрирует результаты стратегических инвестиций властей штата в SUNY – стимулирование развития возможностей осуществления системных исследований и привлечения частных инвестиций, создание новых возможностей в кампусе^{xxi} университета. Инвестиции правительства штата поддерживают на мировом уровне нанотехнологическую инфраструктуру и рабочую силу, создание APPC только увеличит синергетический эффект.

EUV-литография является следующим поколением полупроводниковой технологии производства, использующей для формирования топологий ИС с минимальными размерами топологических элементов излучение с длинами волн 14 нм и менее. Данная технология является критической для достижения улучшений в плане издержек производства, производительности ИС и их потребляемой мощности, необходимых для создания продукции, соответствующей требованиям таких применений, как облачные вычисления^{xxii}, Большие Данные^{xxiii}, мобильные приборы и другие перспективные технологии.

APPC будет решать задачи, связанные с коммерциализацией технологии EUV-литографии. Одним из основных компонентов центра станет EUV-сканер NXE:3300B корпорации ASML, предназначенный для разработки полупроводниковых технологий с топологиями 7 нм и менее, а также изготовления опытных ИС с их применением. Указывается, что в SUNY Poly уже установлен EUV-сканер NXE:3300B (ASML), принадлежащий корпорации IBM. Центр будет согласовывать свою работу с поставщиками шаблонов и материалов для расширения возможностей EUV-литографии посредством изучения фундаментальных аспектов процесса формирования рисунка. Другие направления его деятельности будут направлены на повышение производительности EUV-литографии и подготовку к ее использованию в серийном производстве на заводе GlobalFoundries в г. Молта, шт. Нью-Йорк.

Используя APPC, его члены получают доступ к инфраструктуре формирования рисунка (которой располагает SUNY Poly), включая современное оборудование осаждения пленок и травления, системы формирования рисунка, инфраструктуру EUV-шаблонов и EUV-средства формирования рисунка. Корпорация IBM будет участвовать в работе центра, не только обеспечивая доступ к своему EUV-степперу в SUNY Poly, но и предоставляя свои высокопроизводительные вычислительные решения (облачные и когнитивные^{xxiv}). Надо отметить, что в начале этого года IBM Research впервые в отрасли продемонстрировала 7-нм тестовые кристаллы.

SUNY Poly, GLOBAL FOUNDRIES announce new \$500M R&D program. Solid State Technology. The Pulse, February 09, 2016

Материалы

Макушин М.В.

Боронитридные нанотрубки с квантовыми точками из атомов железа как транзистор без полупроводников

Полупроводниковые приборы быстро приближаются к атомному уровню с топологиями менее 5 нм. Однако большинство предлагаемых решений – вариации на тему: какой полупроводник (типа графена) перспективнее. Возникает вопрос – а может лучше отказаться от полупроводников и использовать туннельные полевые транзисторы (TFET)? Путь перспективный, но большинство материалов для изготовления TFET требует криогенного охлаждения. Однако недавно ученые Мичиганского технологического университета (MTU, г. Хоутон) нашли решение этой проблемы и создали нанотрубки с нанесенными на них квантовыми точками из атомов железа, которые могут использоваться в качестве TFET при комнатной температуре.

Работы MTU находятся на этапе проверки концепции предложенного учеными подхода. Отличительный признак работ – создание структур без использования полупроводников, на основе гибких боронитридных нанотрубок с нанесенными на них квантовыми точками из атомов железа. Данное решение позволяет не только отказаться от использования полупроводниковых материалов, но и создать сверхминиатюрные решения для носимой электроники, превосходящие по параметрам аналогичные решения на основе полупроводников. Другими словами, вместо полупроводникового материала возникает пара «металлическая квантовая точка/изоэлектронный кристалл», позволяющая создавать ультрамалые изделия носимой электроники, отличающиеся повышенной гибкостью.

Исследователи утверждают, что нанесенные на боронитридные нанотрубки (BNNT) квантовые точки (QD) атомов железа могут осуществлять туннелирование от одной QD к другой при ультранизких напряжениях включения, то есть выполнять функцию транзистора, но при этом используется маломощная подложка с абсолютно нулевым током утечки (рисунок 1).

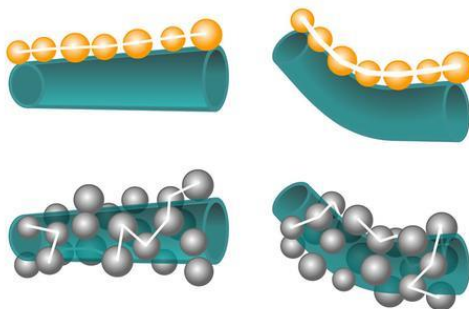


Рисунок 1 – Квантовые точки из атомов железа (желтые сверху и серые внизу), размещенные на боронитридной нанотрубке, создают транзисторы без полупроводников за счет использования квантового туннелирования между точками при превышении порогового напряжения (включение). Электроны могут туннелировать между квантовыми точками, расположенными в ряд, или находить свой путь вдоль нанотрубки с точками, расположенными в произвольном порядке.

Источник: Мичиганский технологический университет

В рамках проводившихся экспериментов было установлено, то напряжение включения для стандартного QD-BNNT канала может быть ниже 0,1 В. Однако при проверке концепции использовался более высокий ток (15 В) – это было обусловлено необходимостью наблюдений в рамках длинного канала с использованием сканирующего туннельного/просвечивающего электронного микроскопов (STM-TEM).

Используя спарку STM-TEM, исследователи смогли наблюдать квантовое туннелирование на гибких нанотрубках. При этом во включенном состоянии созданная структура обладала нулевым током утечки, а в выключенном состоянии ток канала встречался с нулевым сопротивлением. В отличие от канала обычного транзистора, в новой структуре электроны просто туннелируют от одной квантовой точки к другой, при этом у приборов, созданных на основе подобных структур, будут отсутствовать энергетические потери на нагревание при состоянии транзистора «включено/выключено» (рисунок 2).

В рамках проведенных исследований специалисты также пытались создать структуры с квантовыми точками золота на поверхности BNNT. Однако выяснилось, что квантовые точки атомов железа в среднем лучше справляются с задачей формирования туннелирующих межсоединений (в частности, при случайно скрученных нанотрубках), обладают большим постоянством и не подвержены воздействию изгибания (подложки).

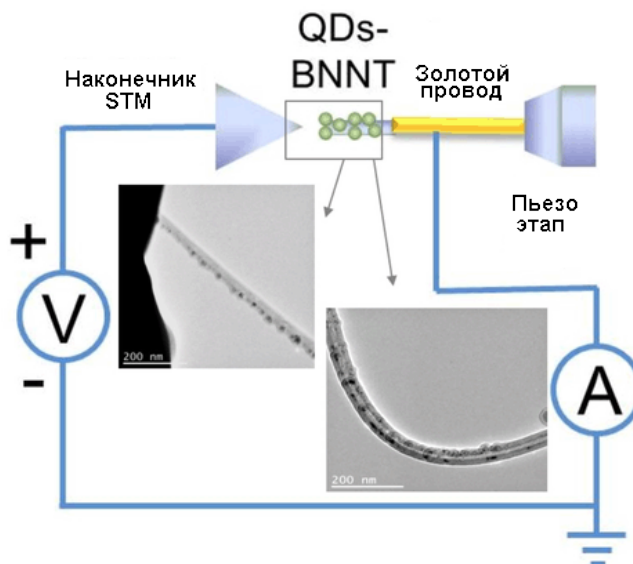


Рисунок 2 – Квантовое туннелирование в гибких нанотрубках, наблюдаемое с помощью просвечивающего электронного микроскопа.

Источник: Мичиганский технологический университет

R. Colin Johnson. Iron quantum-dot studded nanotubes. *EE Times*, 2/9/2016

Нейроморфные приборы и системы

Макушин М.В.

Новая технология изготовления биосовместимых ИС

Движения человека или животного порождаются слабыми сигналами клеток головного мозга. Эти сигналы, получаемые посредством нейронного интерфейса, являются жизненно необходимыми для реализации человеко-машинного интерфейса (brain-machine interfaces, BMI). Однако системы записи нейронных сигналов, исполь-

зующие провода для соединения имплантируемых приборов и внешних устройств, могут стать причиной проникновения в организм инфекции сквозь открытые участки кожного покрова. Единственным методом решения данной проблемы может стать разработка беспроводного нейронного интерфейса, полностью имплантируемого в мозг. При решении подобной задачи необходимо учитывать, как минимум, два фактора: минимальные размеры прибора, размещаемого на поверхности коры головного мозга, и минимальная инвазивность. Кроме того, данная задача требует интеграции источника питания, антенны беспроводной связи и другой функциональной схемотехники.

Исследователи факультета электрической и электронной информационной техники университета Тоёхаси (префектура Айти, Япония) разработали методику корпусирования на уровне пластины, позволяющую интегрировать кристаллы БИС в тонкие пленки толщиной 10 мкм. Данный подход реализуется путем монтажа перевернутого кристалла. Исследователям удалось изготовить прибор с беспроводной передачей энергии (wireless power transmission, WPT), состоящий из гибкой антенны и выпрямителя.

Использование технологии гибких приборов является перспективным для применения биосовместимых пассивных приборов, таких как антенны или электроды датчиков. С другой стороны, технология кремниевых ИС вполне пригодна для создания многофункциональных систем с ультрамалой потребляемой мощностью. За счет сочетания этих двух подходов японским исследователям удалось создать компактные имплантируемые приборы, обеспечивающие минимальную инвазивность.

Площадь первого изготовленного прибора составляет 27×5 мм, 97% его площади состоит из гибкой пленки, остальное приходится на собственно кристалл ИС. Таким образом, достигнута необходимая гибкость для подгонки прибора под форму поверхности мозга. Кроме того, исследователям удалось добиться устойчивости беспроводной передачи энергии к приборам, погруженным в физиологический раствор.

Созданный WPT-прибор может передавать энергию другим схемам, входящим в нейронный интерфейс. В планах дальнейших работ интеграция большего числа функций (усилители, АЦП, ЦОС-процессоры и РЧ ИС) на кристалле БИС. Разработчики полагают, что их работа может внести вклад в создание безопасных ВМІ-систем.

Wirelessly supplying power to brain. Solid State Technology. The Pulse, February 08, 2016

Биоэлектроника

Макушин М.В.

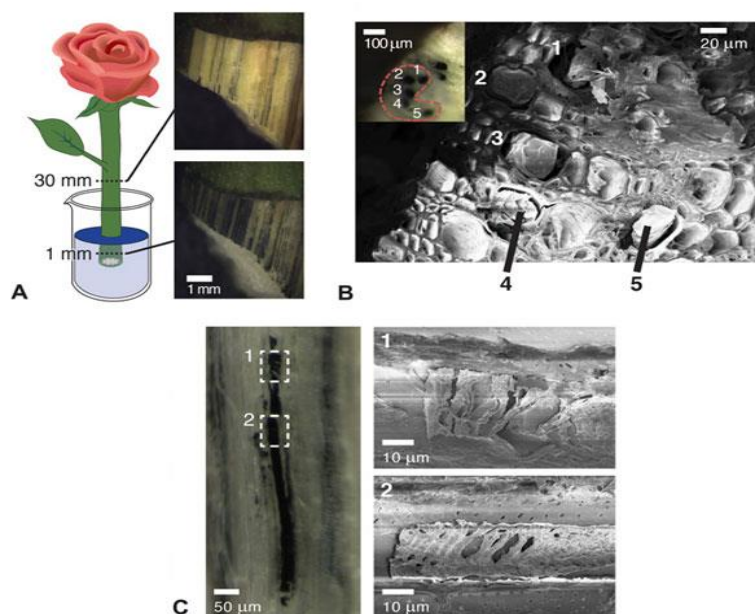
Растения как возможное средство создания электронных приборов

Исследователи Линчёпингского университета (Линчёпинг, Швеция) и Шведского сельскохозяйственного университета разработали метод создания электронных схем внутри живых растений. Заметив сходство в функционировании сосудистой системы растений, с одной стороны, и компонентов дискретных приборов и интегральных схем, с другой, ученые продемонстрировали, как из роз можно сделать аналоговые и цифровые ИС. Данная работа демонстрирует потенциал дальнейшего использования в области регулирования физиологии растений.

После многих неудачных попыток ввести проводящие полимеры в стебли розы исследователи добились успеха, применив PEDOT^{xxv}-S. Когда данный водорастворимый синтетический полимер абсорбировался в срезанные розы (см. рисунок), он отвердел в виде тонкой пленки вдоль ксилемы – основной проводящей ткани наземных растений. Таким образом была создана «провода», проводящая

электричество с использованием электролитов растения без прерывания потока воды и питательных веществ.

Шведские ученые не ограничиваются возможностью создания электронных приборов на основе растений. Сейчас они задумались о возможности создания «растительных электростанций». Предполагается разместить в растениях датчики и использовать энергию, генерируемую в хлорофилле; изготавливать «зеленые антенны» или новые типы материалов. В перспективе – создание уникальных систем на основе использования естественной жизнедеятельности растений.



Электронные растения – этапы формирования

А – Формирование PEDOT-S:H проводов в ксилеме. Обрезанная роза погружается в водный раствор PEDOT-S:H. PEDOT-S:H впитывается и самоорганизуется вдоль ксилемы, формируя проводящие нити. Оптические микрофотографии показывают провода 1 и 30 мм выше нижней части стебля (кора и луб были сняты для открытия ксилемы).

В – Поперечный разрез лиофилизированного (быстро замороженного и высушенного) стебля розы (полученный при помощи растровой электронной микроскопии) показывает ксилему (1-5), заполненную PEDOT-S:H. Врезка демонстрирует соответствующую оптическую микрофотографию, где заполненная ксилема окрашена в характерный темно-синий цвет PEDOT.

С – Изображения ксилемы лиофилизированного стебля розы, полученные на растровом электронном микроскопе (с соответствующей микрофотографией слева), демонстрируют гидрогелеобразную структуру PEDOT.

Amy Norcross. Plants eyed as possible home for electronics. EDN, February 09, 2016

Дисплеи/нанотехнологии

Гузенкова Н.Д.

Перспективы развития рынка дисплеев на квантовых точках

Вопреки распространенному мнению, светодиодная задняя подсветка ЖК дисплеев существенным образом не улучшает качество воспроизводимого изображения.

Задняя же подсветка на основе квантовых точек (наночастиц полупроводниковых материалов) обеспечивает значительное улучшение качества картинки. Квантовые точки способны испускать свет нужной длины волны и их можно размещать под каждым пикселем, что обеспечивает значительное повышение качества и глубины цветопередачи. Безусловно, нужный оттенок на экране телевизора будет создаваться по-прежнему за счет смещения базовых цветов, однако квантовые точки могут добавляться в виде слоя на верхней части светодиодной подсветки для более точной настройки проходящих световых потоков. В результате снижается вероятность возникновения паразитных полутонов и улучшается цветопередача.

За последние три года квантовые точки стали использоваться в устройствах задней подсветки ЖК экранов телевизоров для расширения цветового спектра и повышения энергетической эффективности. Фотолюминесценция квантовых точек позволяет улучшить цвета ЖК экранов. Пионером в данной области стала компания Sony, выпустившая в 2013 г. на рынок первый ЖК телевизор на квантовых точках. В настоящее время в данной сфере занят ряд изготовителей комплексного оборудования (включая Samsung), поставляющих на рынок телевизоры на квантовых точках. Кроме того, квантовые точки можно использовать в качестве электролюминесцентных материалов для создания светодиодов на квантовых точках (QLED^{xxvi}), перспективных для приложений в дисплеях (в частности, в QLED подсветке для ЖК телевизоров).

В отчете компании IDTechEx Research «Квантовые точки 2016-2010 гг.: приложения, рынки, изготовители» прогнозируется, что мировой рынок устройств и компонентов на квантовых точках к 2026 г. составит 11 млрд. долл. (см. рисунок). За следующее десятилетие потребность в квантовых точках возрастет с менее 100 кг до нескольких тонн. После возникших в первые годы затруднений коммерциализация квантовых точек получит успешное развитие. В отчете охвачены все типы коллоидных квантовых точек и приведена оценка основных приложений в дисплеях, осветительных устройствах, солнечных панелях, датчиках, а также использования их в науке о живой природе.



Прогноз рынка устройств и компонентов на основе квантовых точек

Компания IDTechEx проанализировала успехи в технологии изготовления органических светодиодов, тонкопленочных солнечных элементов, барьерных пленок и печатной электроники за многие годы. Поэтому анализ и прогнозы рынка основываются на обширных знаниях в данной отрасли промышленности с критической оценкой

реального экономического обоснования для каждого приложения. Прогнозы для рынка приведены вплоть до 2026 г. и охватывают семь сегментов рынка:

- компоненты ЖК дисплеев;
- LED панели на квантовых точках (QLED панели);
- компоненты осветительных устройств;
- компоненты солнечных элементов;
- сенсорные модули;
- биологические маркеры;
- другие.

Прогнозы приведены для объема продаж (в долл.), поставок (в шт.), а также количества квантовых точек (в кг). В отчете приведен список тридцати двух основных изготовителей квантовых точек в Северной Америке, Европе и Восточной Азии. Кроме того, приводится детальный и независимый промышленный анализ квантовых точек для ЖК и QLED дисплеев. При этом оцениваются различные типы компонентов ЖК дисплеев на основе квантовых точек (пленок, краевой оптики, внутрикристалльных преобразователей с понижением частоты).

На международной выставке потребительской электроники (CES-2016), проходившей в январе 2016 г. в Лас-Вегасе (шт. Невада) принят новый стандарт телевидения сверхвысокой четкости (UHD^{xxviii}). Альянс UHD представляет собой консорциум, объединяющий технологические компании и влиятельные организации, связанные с киноиндустрией (в частности, Universal Pictures, Twentieth Century Fox и Walt Disney Studios). Для обеспечения возможности сертификации в качестве Ultra HD Premium устройство должно соответствовать минимальным техническим условиям (разрешению, глубине цвета, динамическому диапазону и цветовой палитре).

Большое значение для одобрения потребителями является сертификация продуктов. Для изготовителей спецификации не носят строго установленного характера для соответствия разнообразным требованиям. Например, стандарт требует пиковую яркость в 1000 нит, если только устройство не имеет весьма низкого уровня черного; в этом случае считается вполне достаточной пиковая яркость 540 нит. Очевидно, такое решение принято для обеспечения возможности сертификации телевизоров на OLED в качестве Ultra HD Premium, так как высокая яркость все еще является проблемой для OLED. Новый стандарт приводит к существенным изменениям для производства и распространения контента. В частности, весь контент, помеченный Ultra HD Premium, будет кодироваться цветовым представлением BT .2020. Это значительный шаг от старого цветового пространства BT .709, в настоящее время используемого для большей части потребительского контента. За последние два года изготовители дисплеев осуществили коммерциализацию ЖК панелей с «широким цветовым охватом». В таких дисплеях используются новые люминофоры или квантовые точки для получения более широкого спектра цветов. Однако контент, закодированный в BT .709, не способен полностью использовать возможности, предоставленные такими дисплеями. При плохой калибровке могут даже формироваться чрезмерно яркие или перенасыщенные цвета изображений.

BT .2020 представляет гораздо более расширенное цветовое пространство, чем использованные ранее стандарты, так что контент, закодированный в BT .2020, демонстрирует фактический уровень дисплея в смысле цветового воспроизведения. Так, дисплей iMac может охватывать 96% BT .2020 благодаря использованию квантовых точек. Для поставщиков квантовых точек большой контент в BT .2020 позволит эффективно продемонстрировать преимущества дисплеев с широким цветовым охва-

том. Однако устройства, сертифицированные Ultra HD Premium, должны будут демонстрировать только цветовой охват DCI P3, гораздо более ограниченный, чем цветовой охват BT .2020. Таким образом, новый стандарт устанавливает весьма низкую планку в отношении технических характеристик дисплея.

Данный подход способствует продвижению продукции компании Samsung с новым спектром ЖК телевизоров на квантовых точках. Компания решила использовать квантовые точки, не содержащие кадмия, считающегося небезопасным материалом. Однако в настоящее время цветное воспроизведение с квантовыми точками без кадмия составляет менее 80% от BT .2020. Предполагается, что в дальнейшем удастся повысить это значение благодаря получению изготовителями более узких пиков излучения квантовых точек. Тем не менее квантовые точки на основе кадмия останутся наиболее оптимальными для отображения контента BT .2020. Например, компания QD Vision продемонстрировала охват 96% BT .2020 при использовании квантовых точек на селениде кадмия.

Таким образом, новый стандарт помогает применять квантовые точки при использовании двух аспектов. С одной стороны, он позволяет получать сертификацию для безкадмиевой технологии, а с другой – подталкивает потребителей к поискам более совершенного дисплея для просмотра контента BT .2020. Хотя в настоящее время квантовые точки используются только в небольшом числе моделей ЖК телевизоров, они будут иметь все возрастающее значение для изготовителей дисплеев, когда появится соответствующий контент. Согласно прогнозу компании IDTechEx Research, к 2018 г. рынок компонентов дисплеев на квантовых точках достигнет 1,8 млрд. долл.

Пока еще рано говорить о популярности нового стандарта. Но он представляет осуществленную до сих пор наиболее оптимальную попытку определения способа квалификации Ultra HD со стороны потребителей. Следует отметить, что компании Netflix и Amazon внесли вклад в характеристики такого контента. С контентом, распространяемым такими провайдерами непосредственно через интернет, переход к новому стандарту может произойти гораздо быстрее.

Компания QD Vision освоила выпуск коммерческих продуктов на основе линейного элемента IQ Color на квантовых точках: 29-дюймовый монитор Philips, 65-дюймовый телевизор TLC и 65-дюймовый изогнутый телевизор. Это первый изогнутый телевизор, использующий один краевой осветитель и по одному элементу IQ Color на левом и правом краях. В настоящее время растет доля телевизоров с прямой задней подсветкой (обеспечивающей затемнение локальных областей), которые не могут использовать линейную матрицу QD Vision. Однако в будущем компания планирует выпустить большое число телевизоров с краевой подсветкой. В компании ведутся работы по созданию технологии «квантовые точки на кристалле». Для дальнейшего повышения цветового охвата требуются матрицы цветных светофильтров с широким цветовым охватом, а также высококачественные квантовые точки (типа QD Vision). Однако такая технология дает хорошие результаты лишь на кадмиевых квантовых точках.

Guillaume Chansin. Why the new Ultra HD standard matters for quantum dot suppliers. EE Times Europe, January 27, 2016.

Quantum Dots 2016-2026: Applications, Markets, Manufacturers. PRNewswire, Nov. 17, 2015.

Дисплеи/автомобильная электроника

Гузенкова Н.Д.

Автомобильные сенсорные дисплеи, работающие при экстремальных температурах

Используемые в настоящее время в автомобилях ЖК дисплеи (индикаторы на ветровом стекле, приборные панели, дисплеи навигационных систем и развлекательные дисплеи) испытывают затруднения при работе в холодную и жаркую погоду: происходит расплывание изображения и снижается быстродействие. Совместными усилиями исследователей колледжа оптики и фотоники университета Центральной Флориды, научно-исследовательского института современной химии в Ксиане (КНР) и корпорации DIC (Япония) разработаны три новые ЖК смеси, позволяющие преодолеть физические ограничения для автомобильных ЖК дисплеев при экстремальных рабочих температурах.

В качестве отправной идеи для разработки новых смесей исследователи постановили, что ЖК материалы должны иметь точку просветления выше 100°C и точку плавления ниже -40°C. За пределами данного диапазона ЖК материалы теряют свои свойства, так как либо замерзают, либо становятся изотропными. Для поддержания функционирования ЖК материалов в столь широком температурном диапазоне исследователи смешали десяток соединений с тремя и четырьмя бензольными кольцами вместе с низкомолекулярными соединениями. Такая смесь представляла собой эвтектическую систему. Помимо повышения точки просветления смеси продемонстрировали низкие коэффициенты вязкоупругости и энергии активации. Эти свойства играют ключевую роль в сохранении малой вязкости ЖК материала при низких температурах, так как быстродействие ЖК дисплея в основном определяется коэффициентом вязкоупругости и толщиной ЖК слоя.

В современных европейских автомобильных стандартах требуется, чтобы быстродействие при переключении пикселя от одной яркости к другой равнялось примерно 200 мс при -20°C и 300 мс при -30°C, что недостаточно для исключения потери чёткости изображения. Быстродействие, полученное исследователями при использовании новых смесей, равняется примерно 10 мс (в 20 раз превышает быстродействие для европейских стандартов). Кроме того, такие смеси обеспечивают возможность использования системы цветного дисплея с последовательной передачей цветов по полям и при более высокой температуре, что приводит к трехкратному увеличению разрешающей способности и яркости дисплея. Данный подход приводит к повышению контрастности индикаторов на ветровом стекле в дневное время.

В дальнейшем исследователи планируют разработать весьма тонкие ЖК дисплеи для интеграции с зеркалами заднего вида для устранения участков обзора, закрытых от водителя, а также повышения уровня считываемости информации для всех типов автомобильных дисплеев при ярком солнечном освещении.

John Wallace. NEW LIQUID-CRYSTAL FORMULATIONS KEEP AUTOMOBILE TOUCH DISPLAYS WORKING IN EXTREME COLD AND HEAT. Laser Focus World, 02/09/2016.

F. Peng et al., Optical Materials Express 6, 717-726 (2016); doi: 10.1364/OME.6.000717.

Квантовая и оптоэлектроника/экономика

Симонова А.М.

Мировой рынок лазеров для обработки материалов и литографии

К данному сектору рынка относятся лазеры, используемые для всех видов обработки металлов (сварка, резка, отжиг, сверление), в полупроводниковой и микроэлектронной промышленности (литография, скрайбирование, исправление дефектов и сверление сквозных отверстий), для маркировки всевозможных материалов, а также для обработки других материалов (резка и сварка органических материалов, быстрое изготовление прототипов, микрообработка и производство дифракционных решеток). Сюда также входят лазеры для литографии.

Несмотря на невысокие экономические показатели в большинстве стран Европы, замедление экономического роста Китая и сильный доллар США, мировые продажи промышленных лазеров не снизились (см. рисунок). Особенно это относится к продажам волоконно-оптических лазеров. Росту объема продаж лазеров для резки и сварки металлов способствует увеличение продаж автомобилей. В Китае рынок лазеров в значительной степени поддерживается государством, которое планирует создать в стране центр перспективных технологий. Поэтому продажи промышленных лазеров в Китае почти не зависят от состояния национальной экономики.

По данным ежегодного отчета, публикуемого в январском выпуске журнала *Laser Focus World*, мировой рынок лазеров для обработки материалов увеличился с 3,86 млрд. долл. в 2014 г. до 4,12 млрд. долл. в 2015 г. (на 6,6%). В 2016 г. мировые продажи в данном секторе рынка могут составить 4,26 млрд. долл., что на 3,4% выше, чем в предыдущем году (см. рисунок).



Динамика мирового объема продаж лазеров для обработки материалов в 2012-2016 гг.

Несмотря на спад в мировой экономике, рынок промышленных лазеров находится в хорошем состоянии. Это подтверждают позитивные новости о финансовом положении ведущих поставщиков данной продукции. Так, самый крупный производитель промышленных лазеров и лазерных систем фирма *Trumpf* (Дитцинген, Германия) объявила о 16,8%-ном росте продаж – до 946 млн. долл. за период 2014-2015 гг. В 2016 г. ожидается рост продаж аналогичными темпами. Ведущий мировой поставщик волоконно-оптических лазеров фирма *IPG Photonics* (Оксфорд, шт. Массачусетс) сообщила о беспрецедентном увеличении объема продаж (22%) в третьем квартале 2015 г. К концу 2015 г. продажи продукции фирмы приблизились к уровню в 1 млрд. долл. К концу 2015 г. продажи других ведущих поставщиков промышленных лазеров составили 802 млн. долл. для фирмы *Coherent* (Плимут, шт. Мичиган) и 520 млн. долл. для фирмы *Rofin-Sinar Technologies* (Гамбург, Германия).

По данным журнала Laser Focus World, в 2015 г. на мировом рынке промышленных лазеров лидирующее положение по темпам роста (22%) заняли волоконно-оптические лазеры для макрообработки. Отмечается, что почти половина мировых продаж промышленных лазеров приходится на устройства для макрообработки. Это обусловлено их высокой стоимостью. В итоге мировой рынок лазеров для макрообработки в 2015 г. вырос на 10% при 17%-ном увеличении мировых продаж лазерных систем сварки.

В 2015 г. продолжался рост мировых продаж волоконно-оптических лазеров, которые увеличивают свою долю в общих продажах лазеров для обработки материалов. Так, в 2015 г. в данном секторе рынка мировой объем продаж CO₂ устройств снизился на 5%. Продажи твердотельных лазеров остались на том же уровне. Отмечается, что мировой рынок волоконно-оптических лазеров для обработки материалов в 2015 г. продемонстрировал рост на 6% (маломощные устройства для маркировки), на 10% (среднемощные лазеры для микрообработки) и на 22% (мощные устройства для макрообработки). Потеря доли рынка обработки материалов CO₂ лазерами всех уровней мощности обусловлена главным образом увеличением продаж волоконно-оптических и дисковых лазеров средней и высокой мощности. На рынке твердотельных лазеров для систем маркировки наблюдается увеличение продаж дисковых лазеров при одновременном сокращении продаж твердотельных устройств с полупроводниковой накачкой. Ожидаемое увеличение объема продаж мощных полупроводниковых лазеров для резки и сварки отодвигается на 2016 г.

По мнению специалистов, первыми признаками спада на мировом рынке лазеров для обработки материалов в 2015 г. являются умеренный рост продаж лазеров для маркировки (4%) и для микрообработки материалов (4%), по сравнению с более высоким ростом продаж лазеров для макрообработки (9%).

Благодаря стремительному росту популярности аддитивного производства мировой объем продаж промышленных систем с использованием прямого лазерного осаждения металлов и лазерного спекания в 2015 г. увеличился на 71%. Такой же рост ожидается в 2016 г.

Gail Overton, Allen Noguee, David Belforte, Conard Holton. Annual laser market review & forecast: can laser markets trump a global slowdown? Laser Focus World, January 2016

Оптоэлектроника

Симонова А.М.

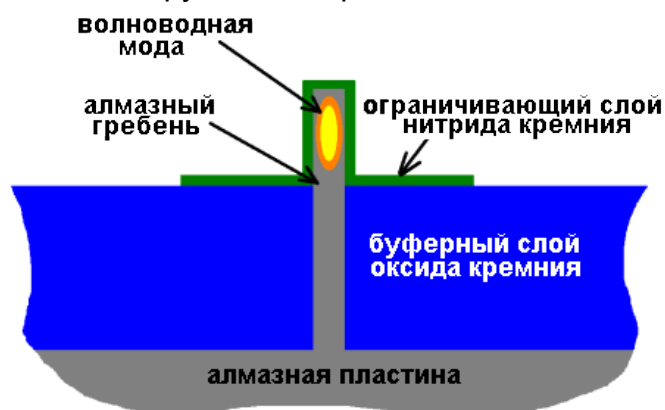
Алмазный гребенчатый волновод для фотонных ИС

Ограничение оптического излучения в фотонных ИС обычно осуществляется путем формирования волновода на поверхности сплошного слоя материала с низким показателем преломления. В результате оптическое излучение распространяется по волноводу через полное внутреннее отражение. Например, в кремниевых фотонных ИС роль сплошного слоя выполняет диоксид кремния, на котором изготавливается структура кремниевых волноводов. Однако в кремниевой фотонике тот факт, что слой с низким показателем преломления должен быть сплошным, создает проблемы для объединения фотонных и электронных устройств. В фотонных ИС другого типа (например, на базе полупроводниковых материалов III-V, карбиде кремния или алмазе) необходимый скрытый слой материала с низким показателем преломления ослабляет структуру и создает дополнительные сложности для производства.

Для решения данной проблемы специалисты Университета Пенсильвании (Филадельфия, шт. Пенсильвания) предложили использовать волноводы специальной

геометрии, которые одновременно обеспечивают ограничение оптического излучения и физическое соединение с пластиной из того же материала (см. рисунок). Расположенный в свободном пространстве гребенчатый волновод сам по себе был бы слишком тонким для распространения основной моды. Благодаря ограничивающему слою нитрида кремния оптическое излучение может передаваться в верхней части волновода. Буферный слой нитрида кремния, который охватывает почти всю нижнюю часть волновода, одновременно поддерживает волновод и исключает распространение оптических мод в нижней его части. Кроме того, волновод монолитно соединен с пластиной.

Отмечается, что новая структура совместима с КМОП технологией. Она также отличается прочностью и конструктивной простотой.



Структура волновода

John Wallace. *The fin-shaped optical waveguide: for integrated photonics, this makes perfect sense.* Laser Focus World, 01/07/2016

Подготовка бюллетеня “Экспресс-информация по зарубежной электронной технике” осуществляется **отделом информационно-аналитических исследований (нач. отдела/шеф-редактор - Макушин М.В., 940-65-47) АО “ЦНИИ “Электроника”, под общей редакцией д.т.н., проф. Мартынова В.В.**

127299, Москва, ул. Космонавта Волкова, 12

Контактные телефоны: (495)940-65-47; e-mail: makushin_m@instel.ru, zheleznova_l@instel.ru.

Лицензия на издательскую деятельность № 04650 от 26.04.01, серия ИД, код 221

Выпуск готовили: М. Макушин, Л. Железнова, Н. Гузенкова, А. Симонова.

ⁱ **SEMI - Semiconductor Equipment and Material International** – Международная организация поставщиков оборудования и материалов для производства полупроводниковых приборов

ⁱⁱ **IoT - Internet of Things** – понятие, относящееся к однозначно опознаваемым объектам (вещам) и их виртуальным представлениям в Интернет-подобных структурах; охватывает все подключаемые к Интернету приборы и устройства различного назначения

ⁱⁱⁱ **JEDEC - Joint Electronic Device Engineering Council** - Объединенный инженерный совет по электронным устройствам; занимается стандартизацией в области производства полупроводниковых приборов и устройств

^{iv} **sensor hub** – концентратор датчиков, блок микроконтроллера/сопроцессора/ЦОС-процессора, позволяющий интегрировать данные различных датчиков и осуществлять их разработку

^v **wearable electronics, wearables** – носимые устройства, например микродисплей, встроенный в очки, или датчики и другие устройства, вмонтированные в одежду или обувь

^{vi} **IEEE-EDS- Electron Device Society of Institute of Electrical and Electronics Engineers** – Общество по электронным приборам института инженеров по электротехнике и электронике (ИИЭР, США)

vii "FinFET Technology Market by Technology (22nm, 20nm, 16nm, 14nm, 10nm, 7nm), Product (CPU, SoC, FPGA, GPU, MCU, and Network Processor), End-User (Smartphones, Computers & Tablets, Wearables, and Automotive) and Geography – Global Forecast to 2022"

viii **FinFET** - полевой МОП транзистор с двумя изолированными затворами, созданный на КНИ подложке, у которого затвор расположен на двух, трех или четырех сторонах канала или окружает канал, формируя таким образом структуру двойного затвора. Эти приборы получили название «finfets» из-за того, что форма области истока/стока напоминает спинной плавник рыбы на поверхности кремния. FinFET приборы обладают значительно меньшим временем переключения и большей плотностью тока, чем широко распространенная КМОП технология с планарными структурами. Трехмерная структура FinFET создает дополнительные технологические трудности в проведении процессов литографии, осаждении и травлении слоев.

ix **early adopter** - ранний последователь; человек, фирма или конечная электронная система, начинающие приобретать новый товар или использовать новую технологию вскоре после появления товара (технологии), т. е. на ранних этапах жизненного цикла товара (технологии)

x **U.S. Customs and Border Protection** - Бюро таможенного и пограничного контроля, (ведомство Министерства внутренней безопасности США, созданное в 2003 г. при участии Таможенной службы, Министерства сельского хозяйства, Пограничного патруля, Службы иммиграции и натурализации; в функции ведомства входит предотвращение проникновения на территорию США террористов, борьба с контрабандой, предотвращение нелегальной иммиграции, контроль за соблюдением американского торгового законодательства, сбор таможенных платежей, защита американской интеллектуальной собственности и т. д.)

xi **DARPA - The Defense Advanced Research Projects Agency** - Управление перспективного планирования оборонных научно-исследовательских работ. Центральная научно-исследовательская организация министерства обороны (Department of Defense). Основная цель - выдача рекомендаций по внедрению принципиально новых технологий для военной промышленности. Создано в 1958. В недрах организации зародилась сеть "АРПАнет" (ARPAnet), ставшая прообразом Интернета.

xii **crowdsource** – краудсорсинг, мобилизация ресурсов людей посредством информационных технологий с целью решения задач, стоящих перед бизнесом, государством и обществом в целом

xiii **National Intelligence** - национальная разведка, правительственный аппарат (при администрации президента) по координации работы всех разведслужб США (разведсообщество из 16 организаций, включая ЦРУ, РУМО и т.п.), собственно разведывательной деятельностью не занимается. Создана согласно «Закону о реформе разведки и борьбы с терроризмом» от 2004 года.

xiv **zombie/zombified computer** - зомбированный компьютер, подключенный к Интернету ПК, атакованный (захваченный) хакером, зараженный вирусом или троянцем. Обычно - один из ПК целой зомбированной сети (botnet), использующейся для выполнения вредоносных задач под дистанционным управлением злоумышленников - рассылают спам (по оценкам, ни посылают 80% всего спама в мире), атакуют веб-сайты и т. д. Большинство владельцев таких ПК даже не знают об этом.

xv **foundry** - кремниевый завод, производство ИС по спецификациям заказчика с предоставлением заказчику широкого спектра услуг использования инструментальных средств фирм-союзников из числа поставщиков САПР для проектирования собственных ИС с использованием базы библиотек стандартных элементов различных fabless- и IDM-фирм (по контрактам foundry с последними), платформ и сложнофункциональных блоков (на тех же условиях). Кремниевые заводы могут заниматься разработкой новейших технологических процессов, но разработкой собственных конструкций ИС, как правило, не занимаются.

xvi **IDM - Integrated Device Manufacturers** – интегрированные изготовители приборов; традиционные полупроводниковые фирмы полного цикла – разработка, проектирование, производство и маркетинг ИС

xvii **MONOS – metal-oxide-nitride-oxide-silicon** – структура «металл-оксид-нитрид-полупроводник», МОНОП-структура

xviii **SATA** – последовательный интерфейс, рассчитанный на подключение быстрых устройств хранения данных к системным платам ПК и недорогих серверов. Скорость передачи данных – 1,5 и 3,2 Гбит/с.

xix **BiCS – Bit-Cost Scalable** – технология побитного масштабирования затрат, т. е. технология, реализующая мультиэтажерочную матрицу памяти с небольшим постоянным числом критических этапов литографии независимо от числа этажируемых (стекируемых) слоев в целях поддержания непрерывного снижения удельных затрат на бит. В рамках этой технологии целая электродная пластина перфорируется сквозь и покрывается другим электродным материалом. Одним из подходов к успешному созданию BiCS-флэш стала технология SONOS-флэш.

^{xx} **EUV - extreme ultraviolet** – наиболее коротковолновая часть ультрафиолетовой области спектра (предельной УФ-области спектра). Длина волны излучения EUV-степперов - 13,5 нм.

^{xxi} **campus** – территория предприятия, организации, комплекс зданий, кампус – совокупность зданий одной организации, расположенных на ограниченной территории, например, университетский городок

^{xxii} **cloud computing** - облачные вычисления, технология распределённой обработки данных (компьютерная архитектура), в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как Интернет-сервис по требованию. При этом нагрузка на входящие в «облако» компьютеры распределяется автоматически.

^{xxiii} **Big Data** - Большие Данные, в информационных технологиях серия подходов, инструментов и методов обработки структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов и значительного многообразия для получения человеко-читаемых результатов, эффективных в условиях непрерывного прироста, распределения по многочисленным узлам вычислительной сети, сформировавшихся в конце 2000-х годов, альтернативных традиционным системам управления базами данных и решениями класса Business Intelligence.

^{xxiv} **cognitive** – когнитивный, связанный с приобретением (сбором, накоплением) данных

^{xxv} **PEDOT** (или иногда **PEDT, Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)**) – проводящий полимер на основе 3,4-этилендиокситиофена (EDOT мономера); преимуществом данного полимера является оптическая прозрачность в проводящем состоянии, высокая стабильность, умеренная запрещённая зона и низкий окислительно-восстановительный потенциал

^{xxvi} quantum dot light emitting diodes

^{xxvii} Ultra High Definition